

Esteiras microbianas da Formação Teresina, em Taguaí (SP), Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná

CALLEFO F.¹, RICARDI-BRANCO F.², GALANTE D.³, RODRIGUES F.⁴

1 Progr. Pós-Grad. Geociências, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, Brasil - flacallefo@yahoo.com.br

2 Depto. Geol. Rec. Naturais, Inst. Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil - fresia@ige.unicamp.br

3 Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais, Campinas, SP, Brasil - douglas.galante@lnls.br

4 Depto. Química Fundamental, Instituto de Química, Universidade de São Paulo, 05508-000 - farod@iq.usp.br

Abstract: The study of preserved microbial carbonates at the Teresina Formation is important to the elucidation of paleogeographic changes which occurred in the Parana basin during the Permian. Teresina Formation represents the transition from marine environments to marine zones with shallow water influenced by storms. In this work we performed studies related to three levels of an outcrop of microbial mats at the city of Taguaí, São Paulo. These rocks were buried by oncoids and ooids during storm events. Results show that bioclasts preserved within microbial mats are formed mainly by ostracod valves and peloids, which can be explained as the end product of the preservation of colonies of microorganism, or even as evidence of detritivorous metazoans activity. The presence of barite, detected in this study, can be linked to microbial activity, since the precipitation of this mineral under anoxic conditions, achieved after burial of the mats, is normally associated to biological processes. Many of the oncoid cortices, which were mapped compositionally by Raman spectroscopy, were composed of aragonite, which is indicative of the presence of brine water. We have concluded that, with the continentalization of the Parana basin, the salinity of the system gradually decreased, a factor that allowed greater proliferation of metazoans that feed from microbial mats' communities, lowering the rate of microbial carbonates deposited on the upper portion of the Teresina Formation.

Manuscrito:

Recebido: 10/11/2015

Corrigido: 16/12/2015

Aceito: 16/12/2015

Citation: Callefo, F., Ricardi-Branco, F., Galante, D., Rodrigues, F. . Esteiras microbianas da Formação Teresina, em Taguaí (SP) Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná. *Terraë*, **12** (1-2):27-35.

Keywords: microbial mats; oncoids ooids; Teresina Formation

Introdução

Esteiras microbianas são estruturas organo-sedimentares laminadas desenvolvidas a partir da fixação de microrganismos em substrato sob condições ambientais favoráveis à manutenção de sua atividade metabólica (Van Gemerdem 1993). São compostas predominantemente por cianobactérias, mas também podem ocorrer bactérias púrpuras, redutoras de sulfato, entre outras. Por intermédio do metabolismo dos microrganismos, é formada uma substância mucilagínosa e adesiva, a substância extracelular polimérica (EPS), na qual os microrganismos ficam incorporados, formando uma estrutura denominada biofilme.

A importância do estudo das esteiras microbianas, bem como dos carbonatos de origem microbial, se baseia em diversos motivos, como a capacidade de estas bioconstruções fornecerem informações sobre as algumas das formas de vida mais antigas na Terra (Noffke 2010), sobre a evolução da atmosfera e da constituição química das

águas marinhas, e sobre as interações bióticas às quais as estruturas estiveram submetidas. Podem ser bem preservadas ao longo do tempo geológico devido à sua capacidade de bioestabilização (Noffke 2010), que reduz o efeito da erosão devido à fixação dos sedimentos pelo biofilme secretado pelas comunidades (Noffke et al. 2013), rico no EPS, altamente adesivo (Burne & Moore 1987, Decho et al. 2011, Riding 2011). Hoje, as esteiras microbianas são encontradas principalmente em ambientes marinhos costeiros salinos ou hipersalinos, sobre o substrato estabilizado em diversas regiões do mundo (Damazio et al. 2006).

Na Bacia do Paraná, a Formação Teresina (Grupo Passa Dois) apresenta o registro da transição de um ambiente marinho franco para um ambiente raso e com influência de eventos de alta energia, como tempestades. Nesta sequência encontram-se diversos registros de estruturas de origem microbiana, como estromatólitos e esteiras (Maranhão 1996, Sallun Filho et al. 2007).

No afloramento estudado na localidade de Taguaí, São Paulo, foram observados três níveis que compreendem esteiras microbianas com oncóides e oóides intercalados a siltitos de coloração arroxeada, argilitos com gretas de contração de fácil distinção na sequência e *grainstones* oolíticos.

O objetivo desta pesquisa foi caracterizar os três níveis de esteiras microbianas, situando suas condições de desenvolvimento dentro do contexto da história deposicional do afloramento, e compreender sua relação com metazoários outrora viventes através dos bioclastos encontrados em meio a elas.

Contexto Geológico

A Bacia do Paraná situa-se no interior da depressão periférica da Plataforma Sul-Americana, ocupando uma área de 1.150.000 km² de extensão em território brasileiro (Almeida 1980). Contempla quase que inteiramente os Estados de Santa Catarina, Paraná, metade do Rio Grande do Sul e parte dos estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, interior de São Paulo e sul de Minas Gerais. O limite em sua borda leste está representado pelo arco afro-brasiliano, que durante a Era Mesozóica esteve ligado à costa do continente africano (Petri & Fulfaro 1983). A bacia apresenta em seu registro sequências sedimentares indicativas de oscilações marinhas e eventos epigenéticos, como soerguimentos e subsidências.

De acordo com Milani (2007), a bacia pode ser subdividida em seis supersequências, sendo que o pacote espesso de camadas de rochas sedimentares depositadas na segunda metade do Permiano

encontra-se contido dentro da supersequência Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico). O Grupo Passa Dois representa a deposição que ocorreu durante a passagem de um ambiente marinho franco a raso, e por fim, a completa continentalização da bacia. A Formação Teresina, que representa a porção média do Grupo Passa Dois e os depósitos gerados em ambientes marinhos rasos, aflora na borda leste da Bacia nos estados de São Paulo, Paraná e Santa Catarina (Milani et al. 2007).

As estruturas microbianas aqui apresentadas fazem parte da sequência sedimentar da Formação Teresina, caracterizada por conter camadas de argilitos e folhelhos, com intercalação de siltitos e arenitos finos acinzentados, indicando transição de um ambiente marinho profundo para um ambiente mais raso e agitado (Lavina 1986).

Esta formação possui, em sua porção intermediária, calcários, calcários oolíticos e coquinas. Apresenta laminações *flaser*, onduladas, gretas de contração, *ripples* e diques clásticos. As porções carbonáticas são mais abundantes, e nelas são encontrados fósseis como valvas de bivalves e ostracodes (Rohn et al. 2003), bem como fósseis de vegetais permineralizados de carófitas (oogônios e caules), licófitas (caules e microfílos), monilófitas (frondes) e lenhos de coníferas (Faria et al. 2010).

Área de estudo

O afloramento estudado situa-se na pedreira de exploração de calcário Gobbo (23°17'28" S - 49°18'12" W), no município de Taguaí, interior do Estado de São Paulo (Fig. 1).

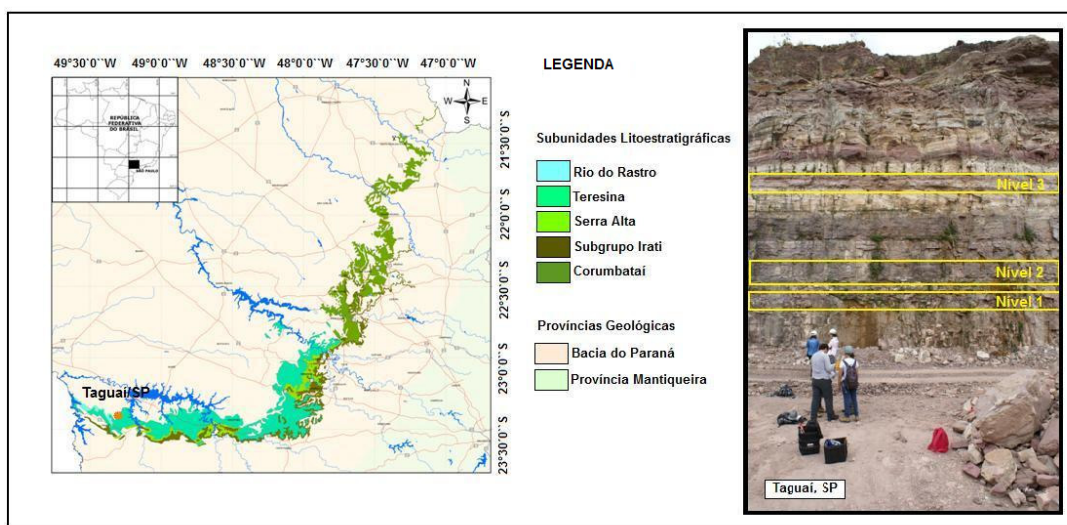


Figura 1. Mapa de localização da Pedreira Gobbo, município de Taguaí, São Paulo. À esquerda, foto do afloramento, evidenciando três níveis de esteiras microbianas

Materiais e Métodos

As amostras são constituídas majoritariamente por esteiras microbianas e foram coletadas orientadas nos três níveis de sua ocorrência no afloramento. Em campo, foi levantada a coluna estratigráfica, realizada a análise macroscópica da litologia do afloramento e amostras grandes e representativas foram coletadas. As amostras foram catalogadas e devidamente depositadas na coleção do acervo de Paleontologia do Instituto de Geociências da Unicamp, dentro da coleção científica.

Primeiramente foram descritas macroscopicamente as seções polidas, depois microscopicamente em lâminas delgadas, todas confeccionadas sem lamínula e polidas. As análises de MEV/EDS foram realizadas no Instituto de Geociências da Unicamp, permitindo inferir a presença de minerais a partir de seu hábito e da estequiometria elementar. A espectroscopia Raman foi realizada no NAP/Astrobio (Núcleo de Pesquisa em Astrobiologia da Universidade de São Paulo). As etapas realizadas em cada amostra constam na Tabela 1.

Resultados

Foram coletadas amostras dos três primeiros níveis carbonáticos correspondentes à esteiras microbianas contendo oncóides e oóides, que foram denominados nível 1 (N1), nível 2 (N2) e nível 3 (N3). Os três níveis encontram-se silicificados e intercalados a arenitos e siltitos, com gretas de contração de fácil distinção na sequência vertical do afloramento (Fig. 2). As microfácies estão ilustradas na figura 3.

Tabela 1. Relação de amostras recolhidas no município de Taguaí (Mineração Gobbo - Permiano). A marcação X corresponde ao tipo de análise realizada com a amostra.

amostra	procedência	lâminas	seções polidas	MEV/EDS	Espectroscopia Raman
CP6/45	nível 1	X		X	X
CP6/46	nível 1	X		X	X
CP6/55	nível 1		X		
CP6/52	nível 2	X	X	X	X
CP6/57	nível 3	X		X	
CP6/58	nível 3	X		X	X
CP6/59	nível 3		X		

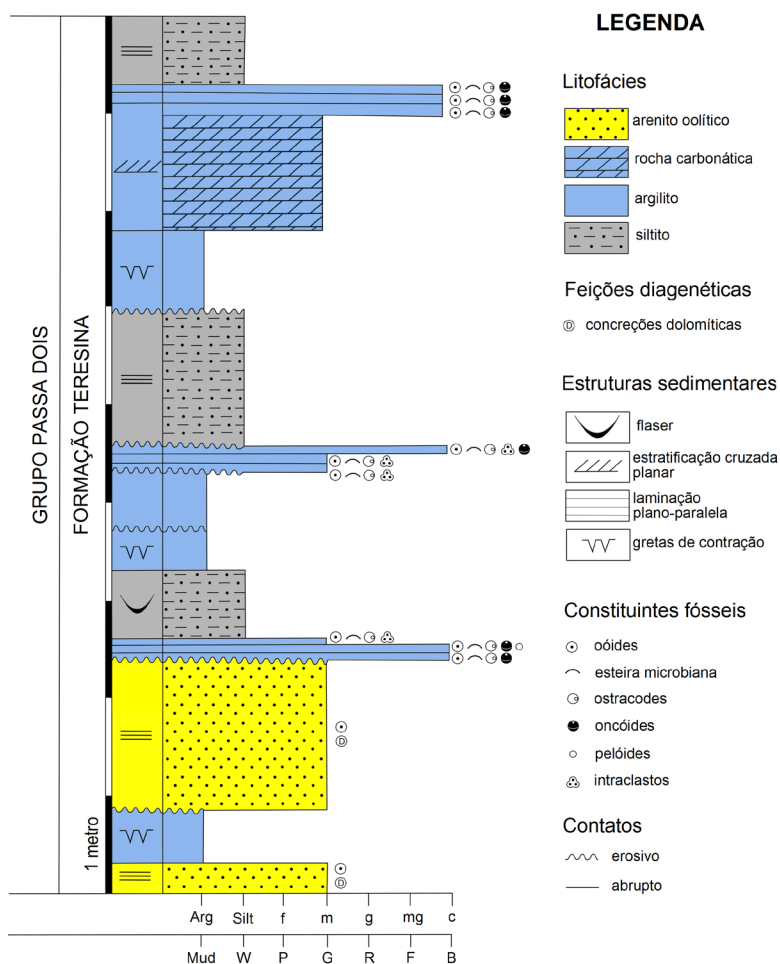


Figura 2. Perfil colunar do afloramento em Taguaí, SP, evidenciando as litofácies e a disposição dos níveis microbianos com seus respectivos constituintes fósseis associados.

Nível 1 (N1)

Este nível situa-se a 2,50 m de altura a partir da base do afloramento, possuindo entre 5 a 10 cm de espessura (Fig. 2). Encontra-se em contato erosi-

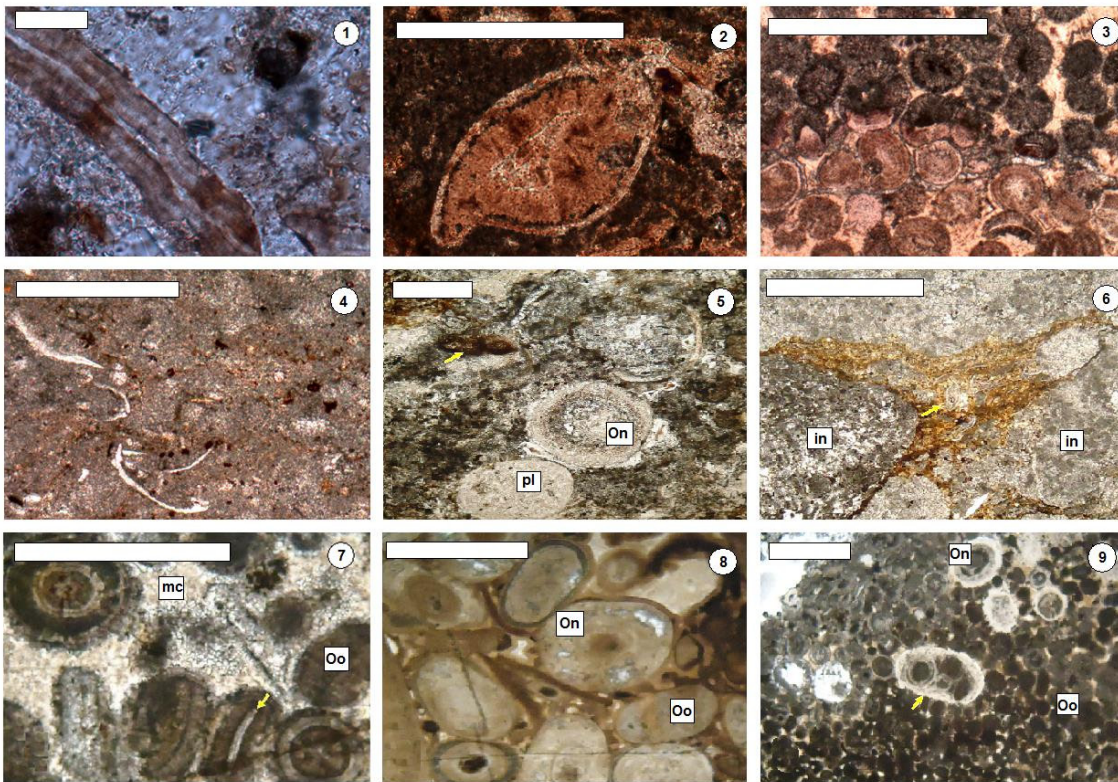


Figura 3. Microfácies dos níveis 1, 2 e 3 de carbonatos microbiais da Formação Teresina aflorantes em Taguaí, SP. 1) Nível 1 – filamento de alga. Escala de 100 μm ; 2) Nível 1 – valvas de ostracodes articuladas e preenchidas por micrita. Escala de 0,5 mm; 3) Nível 1 – oóides cimentados por calcita. Escala de 100 μm ; 4) Nível 2 – valvas de ostracodes desarticuladas e compactadas; matriz micrítica. Escala de 50 μm ; 5) Nível 2 - seta amarela indicando matéria orgânica oxidada; pelóide (pl) e oncóide (on). Escala de 1 mm; 6) Nível 2 - intraclastos (in) em meio a lama carbonática; seta amarela indicando concentração de valvas de ostracodes. Escala de 1 mm; 7) Nível 3 - seta amarela indicando valva de ostracode substituída por calcita, constituindo o núcleo de um oncóide; oncóides e oóides em meio à matriz micrítica (mc). Escala de 1 mm; 8) Nível 3 - oncóides (On) e oóides (Oo) revestidos por lama carbonática; ausência de matriz. Escala de 1 mm; 9) Nível 3 - oncóide (on) e oóides (Oo) em grande abundância; seta amarela indicando agregado de oóides e pequenos oncóides, unidos por cimento micrítico. Escala de 1mm.

vo e sotoposto a arenito oolítico com concreções dolomíticas e laminações plano-paralelas. Em seu limite superior, com contato abrupto, observa-se siltito de coloração rosada e laminação do tipo *flaser*. Apresenta laminações horizontais típicas de esteiras microbianas, com oncóides elípticos (1 a 2 cm de diâmetro) entre elas.

As análises microscópicas realizadas em lâminas delgadas, bem como a classificação dos carbonatos encontram-se detalhadas na tabela 2.

Análise por MEV/EDS e espectroscopia Raman

Os oncóides possuem o córtex de carbonato de cálcio (calcita e dolomita) e sílica, e núcleos compostos de grãos de quartzo. Na matriz foi detectada a presença de sílica, carbonato de cálcio (calcita) e dióxido de titânio (rutilo) distribuídos aleatoriamente como clastos, e em menor proporção, óxido

de ferro (hematita) e sulfato de bário (barita). Estes dois últimos minerais foram encontrados também no córtex dos oncóides. Os pelóides são compostos de carbonato de cálcio (calcita) provavelmente proveniente do processo de substituição. Com o mapeamento realizado com o espectrômetro Raman, foi possível delimitar composicionalmente áreas relativas à oncóides, revelando núcleo de quartzo e córtex de calcita ou dolomita.

Nível 2 (N2)

Localizado a 4,40 metros de altura da base do afloramento, este nível tem cerca de 25 cm de espessura, acima de argilito rosa e abaixo de siltito roxo, com laminações plano-paralelas. Ambos os contatos são erosivos (Fig. 2). A tabela 3 evidencia os detalhes da análise microscópica.

Tabela 2. Descrição dos aspectos microscópicos das amostras relativas ao Nível 1 (N1)

N1	classificação	matriz	intraclastos	bioclastos	oncóides	oóides	pelóides	observações
base	<i>wackstone</i>	micrita	ausentes	valvas de ostracodes	0,5 a 1 cm diâmetro; laminação concêntrica; formato alongado	escassos	ausentes	2,5 a 3 cm de espessura
meio	<i>packstone</i>	micrita	ausentes	valvas de ostracodes	escassos	abundantes e unidos por cimento micrítico.	escassos	3,5 cm de espessura; evidências de dissolução dos grãos revestidos, ora preenchidos por micrita, ora formando porosidade móldica
topo	<i>wackstone</i>	micrita	escassos	valvas de ostracodes compactadas	ausentes	abundantes; menores que 0,5 mm de diâmetro	ausentes	2 cm de espessura; evidência de dissolução dos grãos, gerando porosidade móldica.

Análise por MEV/EDS e espectroscopia Raman

Pode ser inferida a presença de dióxido de silício (sílica), carbonato de cálcio (calcita), carbonato de cálcio com alta taxa de magnésio (dolomita), óxido de ferro (hematita), além de alumino-silicato (argilomineral). As composições dos oncóides (Fig. 4) são as mesmas do Nível 1, porém com a presença de argilominerais no córtex e dolomita, predominando a calcita nessa região. A barita ocorreu de forma difusa na matriz, próxima ao córtex dos oncóides, sugerindo relação com a estrutura. Também foi detectada a presença de óxido de ferro (hematita) em meio à matriz e intraclastos.

Nível 3 (N3)

Situa-se a 8 metros de altura da base do afloramento e possui aproximadamente 25 cm de

espessura. Abaixo deste nível ocorre *grainstone* com estratificações cruzadas, com o qual está em contato abrupto. Acima, também em contato abrupto, ocorre siltito com laminações plano-paralelas (Fig. 2). A descrição microscópica encontra-se na tabela 4.

Análise por MEV/EDS

Os principais minerais que puderam ser inferidos foram dióxido de silício, carbonato de cálcio e óxido de ferro. Bem como nos outros níveis, a barita aparece associada ao carbonato de cálcio (calcita), ou de forma aleatória na matriz, próxima aos oncóides. Não foi possível a obtenção de bons espectros com a espectroscopia Raman para as amostras deste nível devido à baixa razão sinal/ruído nessas medidas, o que impossibilitou a discriminação de bandas de interesse.

Tabela 3. Descrição dos aspectos microscópicos das amostras relativas ao Nível 2 (N2)

N2	classificação	matriz	intraclastos	bioclastos	oncóides	oóides	pelóides	observações
base	<i>wackstone</i>	rosa; micrita	abundantes	escassas valvas de ostracodes	ausentes	0,2 a 0,5 mm de diâmetro; elípticos e arredondados	ausentes	5 a 6 cm de espessura;
meio	<i>packstone</i>	cor escura; micrita	muito abundantes	escassas valvas de ostracodes	ausentes	escassos	ausentes	5 cm de espessura; fábrica grão suportada; grande quantidade de lama carbonática.
topo	<i>wackstone</i>	cor escura; micrita	abundantes	escassas valvas de ostracodes	escassos	escassos	ausentes	2,5 cm de espessura; argilas; matéria orgânica oxidada

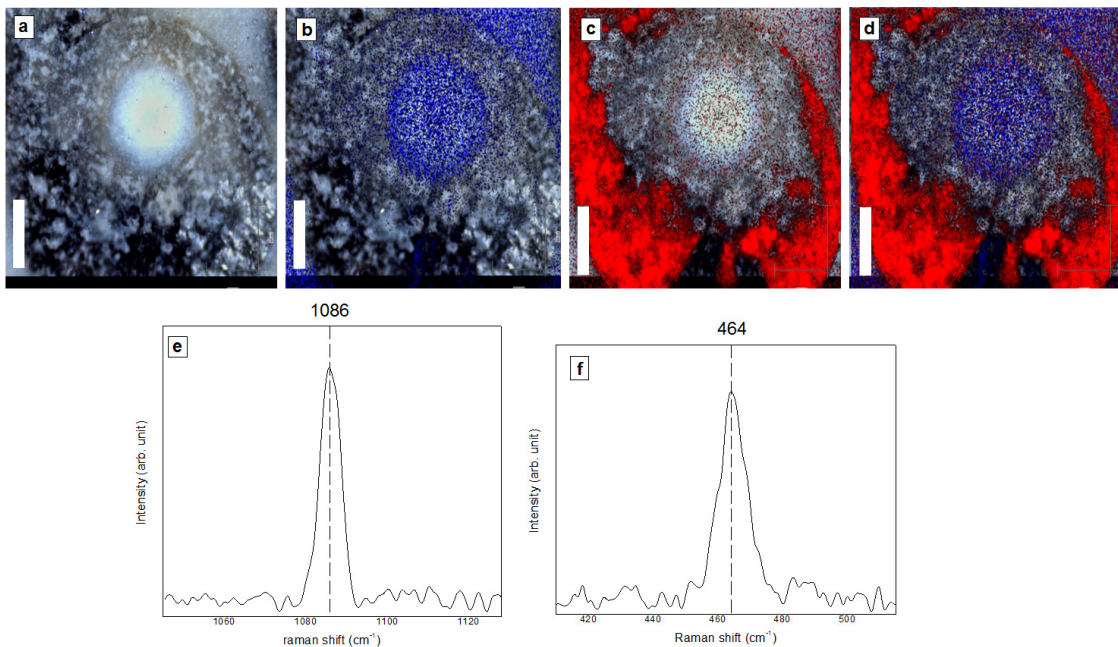


Fig. 4. Mapeamento com Espectroscopia Raman. a) microscopia óptica da região realizada; b) mapeamento de quartzo (azul); c) área da matriz de calcita (vermelho); d) sobreposição das áreas mapeadas; e) banda em ca. 1086 cm⁻¹ correspondendo ao modo de estiramento simétrico do CO₃ da calcita, utilizada para mapeamento (c); f) espectro

Discussão

O afloramento da Pedreira Gobbo em Taguaí evidencia, através dos litotipos estudados ao longo de sua sucessão, um ambiente com alternância de fases climáticas secas e úmidas, e na energia envolvida no sistema, ora com ciclos de águas calmas, ora com ciclos de tempestades, como já apresentado por Andreis et al. (2001). A Formação Teresina registra essa ciclicidade, fruto da transição de um ambiente marinho franco para um ambiente cada vez mais raso, porém influenciado por eventos de tempestades.

De acordo com Ng et al. (2012), em estudo de

níveis microbiais no bairro Bocaina, em Taguaí, o início da deposição dos carbonatos se deu a partir do momento em que o aporte de siliciclásticos diminuiu e a salinidade do ambiente aumentou, com a redução da pluviosidade. Também segundo os autores, os níveis de oncólitos representam episódios de deposição rápida por eventos de alta energia, como ação de ondas de tempestades, com erosão e redeposição desordenada de oncóides em condições de águas rasas, estes alóctones ou parautóctones. De acordo com Adams & Mackenzie (2011), oncóides e oóides são grãos revestidos por camadas concêntricas de carbonato de cálcio, distintos entre si pelo tamanho e pela esfericidade,

Tabela 4: Descrição dos aspectos microscópicos das amostras relativas ao Nível 3 (N3).

N3	classificação	matriz	intraclastos	bioclastos	oncóides	oóides	pelóides	observações
base	<i>grainstone</i>	escassa (micrita)	ausentes	escassas valvas de ostracodes	escassos; formato elíptico; núcleos de valvas de ostracodes	abundantes; córtex de aragonita	ausentes	4 cm de espessura; cimentação calcítica (micrita)
meio	<i>wackstone</i>	micrita	ausentes	escassas valvas de ostracodes	abundantes; formato arredondado; núcleo branco e córtex escuro	muito escassos; coloração escura	ausentes	4 cm de espessura; cimentação calcítica (micrita); argilas
topo	<i>packstone</i>	ausente	ausentes	escassas valvas de ostracodes	escassos; formato elíptico; núcleo e córtex brancos	abundantes; arredondados	ausentes	7,5 cm de espessura; cimentação calcítica (micrita); grãos suportados entre si e revestidos por lama carbonática.

além da natureza de seus núcleos, que pode ser orgânica ou inorgânica, representando alta energia envolvida em seu processo de formação, como ondas e tempestades.

A primeira deposição de carbonato visível no afloramento, o Nível 1, ocorreu em um sistema marinho hipersalino com águas rasas e calmas, no qual foi possível a colonização do substrato por microrganismos que deram origem às esteiras microbianas lá encontradas. Desenvolvida acima de um arenito oolítico, característico de alta energia, a esteira microbiana se desenvolveu quando o nível d'água tornou-se calmo e raso o suficiente para o estabelecimento de suas colônias no substrato, tendo posterior colonização de organismos detritívoros, como os ostracodes. Com a volta do aumento da energia associada a eventos de tempestades, foram transportados até as esteiras oncóides, oóides e intraclastos (porções intermediária e superior do N1), os quais são encontrados entremeados nas laminações das esteiras, indicando que este transporte ocorreu com elas ainda vivas. A forma elíptica do córtex dos oncóides indica que estes podem ter sofrido um rápido soterramento enquanto ainda não estavam totalmente litificados. Um fator que corrobora esta hipótese é o conjunto de características destes oncóides, como a textura deposicional *wackstone* ou *packstone*, grãos menores que 50 mm e núcleo composto por litoclastos, sendo interpretados como tendo origem em ambiente de "open marine lagoon" (Flügel 2004), ou seja, são parautóctones com relação ao ambiente onde as esteiras microbianas se desenvolveram. A presença de pelóides neste nível pode estar associada à preservação de colônias de microrganismos ou à intensa atividade de organismos detritívoros que se alimentavam das esteiras microbianas, o que reforça a ideia de que as esteiras habitavam um ambiente de águas rasas e mais restrito. A maioria das espécies de ostracodes possui o hábito detritívoro e se alimenta de matéria orgânica em decomposição (Coimbra & Bergue 2004). O substrato de esteiras microbianas é, portanto, um ambiente ideal para a proliferação destes organismos, fato que explica a presença de grande quantidade de valvas encontradas em meio às esteiras estudadas. Com relação à energia do sistema, a deposição deste nível se iniciou com períodos mais calmos na deposição do *wackstone* (porção basal), seguido de eventos de tempestade na deposição do *packstone* (porção intermediária), tornando o ambiente mais calmo na deposição do *wackstone* da porção superior.

Devido a oscilações no nível relativo do corpo d'água, a sequência continuou com a deposição de camadas siliciclásticas. O clima tornou-se mais úmido e depois gradativamente mais seco, com consequente aumento da salinidade, até a deposição da camada carbonática seguinte (Nível 2), na qual novamente aconteceu o desenvolvimento de esteiras microbianas. Neste nível (N2), há evidências de eventos de tempestade e alta energia envolvendo o transporte de clastos. A abundância de intraclastos é alta, o que indica maior transporte e maior energia envolvida do que no nível anterior. Os oóides, bem como os córtices dos oncóides, apresentam uma coloração mais escura, relativa a inclusões de matéria orgânica. Áreas escuras no córtex também podem ter origem através da micritização por microrganismos endolíticos (Adams et al. 2011). Os núcleos dos oncóides constituem, em sua maioria, de quartzo arredondado, indicando que estes foram transportados antes de serem alocados em meio às esteiras microbianas. Assim como no N1, a energia do sistema variou de baixa (base *wackstone*), a alta na deposição da porção intermediária (*packstone*), tornando-se novamente baixa (topo *wackstone*).

A deposição de siltitos acima do N2 indica uma nova mudança ambiental, na qual novamente houve um pequeno aumento do corpo d'água. Acima desta camada de siltitos, encontra-se *grainstone* com estratificações cruzadas, de possível origem eólica, que evidencia a posterior diminuição do nível d'água na qual surgiram porções emersas, expondo os grãos à ação de ventos. A deposição do nível 3 (N3), ocorreu após uma elevação do nível do corpo d'água, porém este permaneceu raso o suficiente para a proliferação de colônias de microrganismos que criaram novas camadas de esteiras microbianas. Novamente ocorrem evidências de períodos de alta energia no sistema, como o aporte de oóides e oncóides, estes transportados por ondas de tempestades. A presença de oóides e oncóides de córtex de aragonita indica que água salina teve influência em sua formação. Por estes estarem bem preservados, significa que sua diagênese foi muito rápida (Flügel 2004).

A presença de sulfato de bário (barita) nos níveis 1 e 3 possivelmente está relacionada a sua gênese por ação biológica. Ocorre junto à precipitação de dolomita nas esteiras microbianas, sendo que, de acordo com Sanz-Montero et al. (2009), a co-precipitação de barita e dolomita envolve complexas interações entre vários microrganismos, e reforça a ideia de formação de dolomita por

ação biológica. A fonte de bário pode ter sido, por exemplo, a intempérie de feldspatos, entre outras possibilidades. Microrganismos que metabolizam enxofre são capazes de mediar a saturação de bário (Senko et al. 2004), porém, a sua influência sobre o desenvolvimento estrutural da barita ainda é mal compreendida (Bonny & Jones 2007). De acordo com Bonny & Jones (2008), bactérias oxidantes de enxofre associadas ao EPS são adequadas para a precipitação de barita, e este processo é normalmente mais eficiente sob condições anóxicas. Uma vez que as esteiras microbianas dos níveis 1 e 3 foram soterradas pelo aporte rápido de oncóides, oóides, clastos e lama carbonática, o ambiente pode ter se tornado ideal para a precipitação de barita de origem biológica.

Nos níveis 2 e 3, a argila ocorre em meio à matriz carbonática. De acordo com Suguio (1974), as porções argilosas indicam períodos de deposição siliciclásticas concomitantes à deposição dos carbonatos. A presença de óxidos de ferro, como hematita, indica períodos de exposição subaérea do sistema, e o óxido de titânio (rutilo) observado, associado aos intraclastos em meio à matriz carbonática, é comum em ambientes sedimentares, devido sua resistência a processos químicos e físicos.

Conclusões

A análise de litotipos selecionados do afloramento corrobora a hipótese da alternância de fases climáticas secas com períodos de chuvas esporádicas, associados à continentalização da Bacia do Paraná decorrente de mudanças paleogeográficas e paleoclimáticas.

Ao longo da história deposicional do afloramento, o ambiente apresentou diversas mudanças na profundidade da coluna d'água, na salinidade e na energia envolvida, e tendeu a perder cada vez mais suas características marinhas. Uma vez que, no Permiano, a Bacia do Paraná já não estava mais em contato com o oceano Panthalassa, ela foi adquirindo gradativamente características mais continentais, afetando a salinidade do corpo d'água, que passou a ser alimentado por água doce decorrente das chuvas. Com a diminuição da salinidade, a proliferação de organismos que realizavam a predação das comunidades microbianas, como os ostracodes, foi favorecida, influenciando consideravelmente o desenvolvimento dos carbonatos microbiais, principalmente das esteiras microbianas, visto que sua ocorrência tornou-se cada vez mais escassa na

porção superior do afloramento, que culmina com o topo da Formação Teresina.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES e ao CNPq pela concessão de bolsas de pesquisa e à FAPESP pelo apoio financeiro por meio do Processo FAPESP 2013/11563-6 "Intergração de dados multifonte para análise paleobotânica da bacia do Paraná no intervalo Carbonífero-Permiano". Aos proprietários da Pedreira Gobbo, ao geólogo Fábio Cardinale Branco e ao Msc. Francisco Santiago pela ajuda em campo. Agradecem também ao Núcleo de Pesquisa em Astrobiologia da Universidade de São Paulo, pela infraestrutura das análises de espectroscopia Raman.

Referências

- Adams A.E. & Mackenzie W.S. 2011. *A Colour Atlas – Carbonate Sediments and Rocks Under the Microscope*. Mason Publ. 180p.
- Almeida F.F.M. 1980. *Tectônica da Bacia do Paraná no Brasil*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). (Rel. 14.091).
- Andres R.R., Carvalho I. S. 2001. A Formação Corumbataí (Permiano Superior -Triássico Inferior, Bacia do Paraná) na Pedreira Pau Preto, Município de Taquai, São Paulo, Brasil: Análise Paleoambiental e das Pegadas Fósseis. *Rev. Bras. Paleont.*, **2**:33-46.
- Bonny S. & Jones B. 2007. Barite (BaSO₄) biomineralisation at Flybye Springs, a cold sulphur spring system in Canada's Northwest Territories. *Can. J. Earth Sci.*, **44**:835-856.
- Bonny S. & Jones B. 2008. Experimental precipitation of Barite (BaSO₄) among streamers os sulfur-oxidizing bacteria. *J. Sedim. Res.*, **78**:357-365.
- Burne R.V., Moore L.S. 1987. Microbialites: organosedimentary deposits of benthic communities. *Palaios*, **2**:241-254.
- Coimbra J.C. & Bergue C.T. 2004. Ostracodes. In: Carvalho I.S. (ed.) 2004. *Paleontologia*. Rio de Janeiro. Interciência, p. 719-732.
- Damazio C.M., Silva e Silva L.H. 2006. Cianobactérias em esteiras microbianas coliformes da lagoa Pitanguinha, Rio de Janeiro, Brasil. *Rev. Bras. Paleont.*, **9**:165-170.
- Decho A., Frey R.L., Frey J.L. 2011. Chemical challenges to bacterial AHL signaling in the environment. *Chemical Reviews*, **111**:86-99.
- Faria, R.S., Ricardi-Branco F. 2010. *Lepidophylloides corumbataensis* sp. nov. from Guadalupian in the

- Paraná Basin, Southern Brazil. *Rev. Paleob. Palyn.*, **160**:135-142.
- Flügel, E. 2004. *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application*. Heidelberg, Springer. 976 p.
- Lavina E.L. & Lopes R.C. 1986. A transgressão marinha do Permiano Inferior e a evolução paleogeográfica do Supergrupo Tubarão no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, *Paula Coutiana*, **1**:51-103.
- Maranhão M.S.A., Petri S. 1996. Novas ocorrências de fósseis nas formações Corumbataí e Estrada Nova do Estado de São Paulo e considerações preliminares sobre seus significados paleontológico e bioestratigráfico. *Rev. Inst. Geol.*, **17**(1/2):33-53.
- Milani E.J., Melo J.H.G., Souza P.A., Fernandes L.A., França A.B. 2007. Bacia do Paraná. In: *Cartas Estratigráficas. Bol. Geoc. Petrobrás*, **15**(2):265-287.
- Ng C., Rohn R., Fairchild T. R., Maranhão M. S. A. S. 2012. Microbialitos permianos da Formação Teresina em Bocaina (Município de Taguaí, SP, Bacia do Paraná). In: 46º Congr. Bras. Geol. e 1º Congr. Geol. Países Língua Portuguesa, Santos. *Anais...* SBG, São Paulo.
- Noffke N. 2010. *Geobiology Microbial Mats in Sandy Deposits from the Archean Era to Today*. Berlin, Springer-Verlag. 194p.
- Noffke N. & Awramik S.M. 2013. Stromatolites and MISS. Differences between relatives. *GSA Today*, **23**:4-9.
- Petri S. & Fúlfaro V.J. 1983. *Geologia do Brasil*. São Paulo, EDUSP. 631p.
- Riding R. 2011. The nature of Stromatolites: 3,500 Million Yers of History and a Century of Research. In: Reitner J., Quéric N.-V., Arp G. eds. *Advances in Stromatolite Geobiology*. Springer, Heidelberg, *Lecture Notes in Earth Sciences*, **25**:29-74.
- Rohn R. & Meghioratti T. 2003. Estromatólitos da Formação Teresina (Bacia do Paraná, Permiano Superior) reconhecidos em testemunhos de furos de sondagem. In: *Paleo 2003*, Ribeirão Preto, São Paulo. Porto Alegre: *B. Inf. Soc. Bras. Paleont.*, **18**:28-29.
- Sanz-Montero M.E., Rodríguez-Aranda J.P., García del Cura M.A. 2009. Bioinduced precipitation of barite and celestite in dolomite microbialites - Examples from Miocene lacustrine sequences in the Madrid and Duero Basins, Spain. *Sedim. Geol.*, **222**:138-148.
- Sallun Filho W., Maranhão M.S.A., Hachiro J., Silva e Silva L.H., Ghilardi R.P. 2007. Estromatólitos do Grupo Passa Dois (Permiano, Bacia do Paraná) na região de Sarutaiá, Taguaí e Angatuba, SP. In: Congresso Brasileiro de Paleontologia, 20, *Anais...*, Búzios, RJ. Soc. Bras. Paleont. p.118.
- Senko J.M., Campbell B.S., Henriksen J.R., Elshahed M.S., Dewers T.A., Krumholz L.R. 2004. Barite deposition resulting from phototrophic sulfide-oxidizing bacterial activity. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **68**:773-780.
- Suguio K., Salati E., Barcelos J.H. 1974. Calcários oolíticos de Taguaí (SP) e seu possível significado paleoambiental na deposição da Formação Estrada Nova. *Rev. Bras. Geoc.*, **4**:142-166.
- Van Gemerden H. 1993. Microbial mats: a joint venture. *Marine Geol.*, **113**:3-25.

Resumo: O estudo dos carbonatos microbiais preservados na Formação Teresina é importante para a elucidação das mudanças paleogeográficas que ocorreram durante o Permiano da Bacia do Paraná. A Formação Teresina representa a transição de ambiente marinho franco para um mar raso, salobre e influenciado por tempestades. Nesta pesquisa foram estudados três níveis de esteiras microbianas aflorantes em Taguaí, estado de São Paulo, que foram soterradas por oncóides e oóides durante eventos de tempestade. Os resultados mostram que os bioclastos preservados em meio às esteiras constam majoritariamente de valvas de ostracodes e pelóides, sendo estes últimos relacionados à preservação de colônias de microrganismos, ou indicativos de atividade de metazoários detritívoros. Foi detectada barita, possivelmente decorrente do metabolismo microbiano, uma vez que a condição anóxica requerida para a precipitação biológica do mineral foi criada após o soterramento das esteiras. Muitos dos córtices de oncóides, que foram mapeados composicionalmente por espectroscopia Raman, eram compostos por aragonita, indicadora de influência de água salina. Concluiu-se que, com a continentalização da Bacia do Paraná, a salinidade do sistema diminuiu gradativamente, fator que permitiu a maior proliferação de metazoários que se alimentavam das comunidades microbianas, tornando o desenvolvimento dos carbonatos microbiais cada vez menor na porção superior da Formação Teresina.

Palavras-chave: esteiras microbianas; oncóides; oóides; Formação Teresina.